

中国通信学会普及与教育工作委员会推荐教材

21世纪高职高专电子信息类规划教材

21 Shiji Gaozhi Gaozhuan Dianzi Xinxilei Guihua Jiaocai

# 光传输网络技术

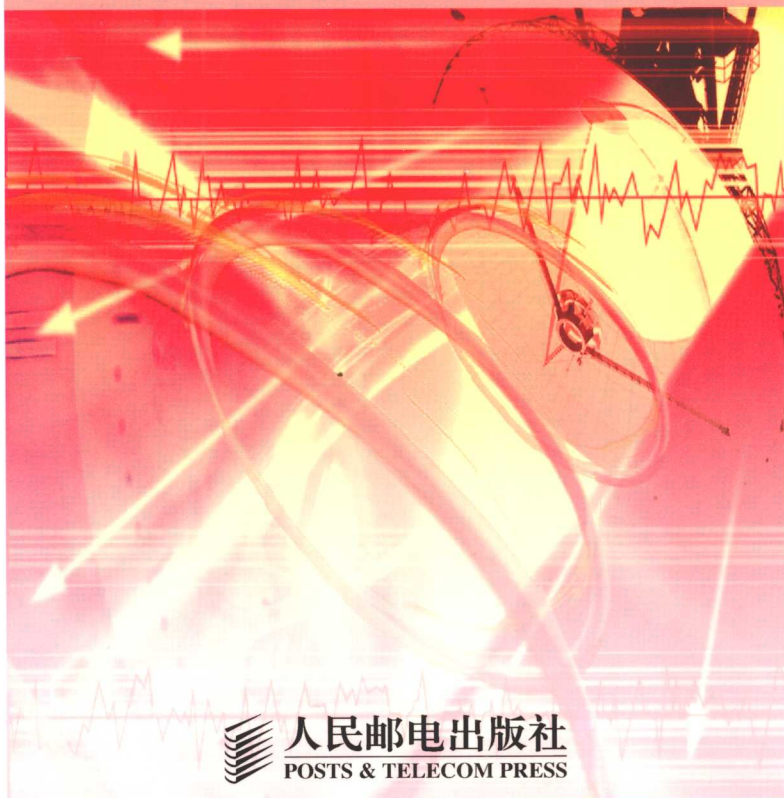
## ——SDH与DWDM

### (第2版)

何一心 主编

文杰斌 副主编 王韵 林燕 编著

- 结合多年教学经验，与企业合作精选教学内容
- 结构清晰重点突出，紧跟岗位需求和技术发展
- 理论与实践相结合，注重学生实践能力的培养



 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

C13024513

中国通信学会普及与教育工作委员会推荐

TN929.11-43  
44-2

21世纪高职高专电子信息类规划教材

21 Shiji Gaozhi Gaozhuan Dianzi Xinxilei Guihua Jiaocai

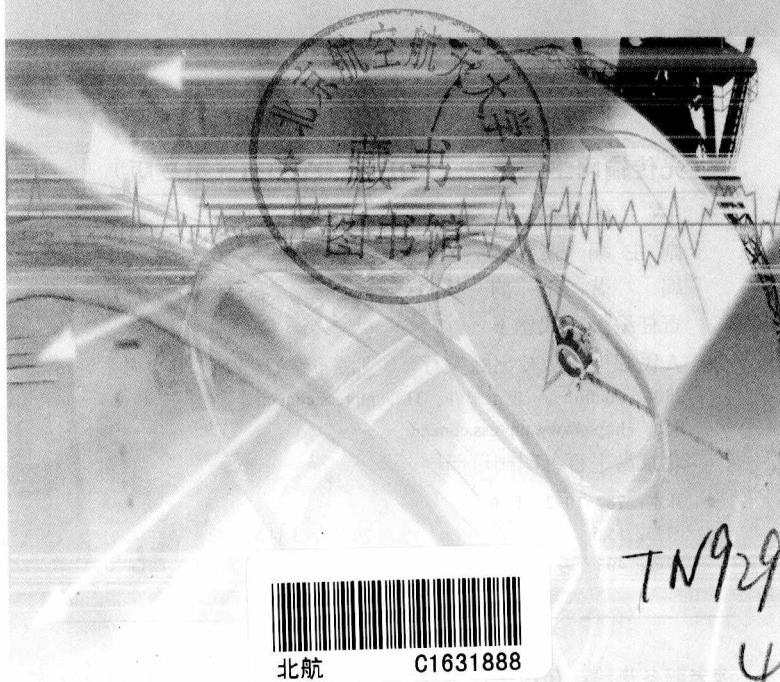
# 光传输网络技术

## ——SDH与DWDM

(第2版)

何一心 主编

文杰斌 副主编 王韵 林燕 编著



北航 C1631888

TN929.11-43  
44-2

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

光传输网络技术：SDH与DWDM / 何一心主编. -- 2  
版. -- 北京：人民邮电出版社，2013.3  
21世纪高职高专电子信息类规划教材  
ISBN 978-7-115-30562-6

I. ①光… II. ①何… III. ①光纤通信—同步通信网—  
—高等教育—教材 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第025062号

## 内 容 提 要

全书分为五大部分共10章。第一部分SDH技术，主要介绍了SDH的基础理论知识、SDH网元设备逻辑组成及其信号告警流程、SDH网络及其自愈能力、SDH支撑网络和MSTP技术；第二部分DWDM技术，主要介绍了DWDM技术概要和实现DWDM通信的关键技术；第三部分传输网络新技术，主要对PTN技术、OTN技术和全光网络技术作了简单介绍；第四部分光网络传输性能和典型传输设备，主要介绍了光网络传输性能参数、光接口和电接口的测试、中兴及华为的传输设备；第五部分传输网络维护，主要介绍了传输网络维护整体要求、日常维护项目与注意事项、故障定位原则和方法、常见故障的处理和传输故障案例分析。

本书概念清晰、内容丰富，理论与实践紧密联系，重点突出实践。本书可作为高职高专通信技术、电子信息等专业相关课程的教材，实现高职毕业生零距离上岗要求；同时也可作为从事传输设备维护的工程技术人员参考书。

21世纪高职高专电子信息类规划教材

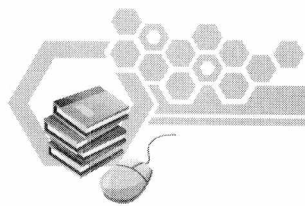
### 光传输网络技术——SDH与DWDM（第2版）

- ◆ 主 编 何一心
- 副 主 编 文杰斌
- 编 著 王 韵 林 燕
- 责任编辑 武恩玉
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号  
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京昌平百善印刷厂印刷
- ◆ 开本：787×1092 1/16  
印张：15.5 2013年3月第2版  
字数：405千字 2013年3月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-30562-6

定价：32.00元

读者服务热线：(010)67170985 印装质量热线：(010)67129223  
反盗版热线：(010)67171154



## 第2版前言

《光传输网络技术——SDH与DWDM》一书自2008年出版以来,受到了广大通信类高职院校师生以及从事光传输网络技术的工程技术人员的肯定,同时也得到了对教材的诸多中肯建议和意见;近几年,随着光传输网络技术的迅速发展,SDH传输网络和DWDM传输网络已经发展得非常成熟,主要应用在国家干线网、城域网以及接入网中。同时,通信企业传输类岗位对SDH和DWDM技术的要求也发生较大变化。以PTN技术和OTN技术为代表的新光传输网络技术,尽管技术标准尚未完善,但已在通信网络中得到了大量应用。为了进一步完善全书结构与内容,保证本书与光传输网络技术实际应用同步的编写目的和编写效果,以适应社会需求,本书编写组决定将《光传输网络技术——SDH与DWDM》进行修订。

本次修订工作主要优化了全书的整体框架结构,并根据相关知识点的要求进行了调整。具体而言,将本书第1版的第1章SDH基础知识中的1.6节ATM、IP映射入STM-N删除,将第7章SDH新业务应用调整到第1章SDH基础知识,作1.6节;将第2章SDH设备的逻辑组成中的告警流程及说明知识进行细化;将第4章电信管理网与SDH管理网和第5章SDH网同步合并为第4章SDH支撑网;将第6章SDH网络传输性能调整为第8章光网络传输性能与测试,对整章内容组织进行了较大幅度的修改,并增加了测试项目与内容;将第11章全光网络调整为第7章传输网络新技术中的一节;将第8章设备介绍与安装调整为第9章典型传输设备介绍,并由原来的一种SDH设备介绍,扩充到了对几种传输设备的介绍;对第10章传输网络日常维护和故障处理的第3节传输网常见故障分析和处理进行了组织结构和内容的修改。

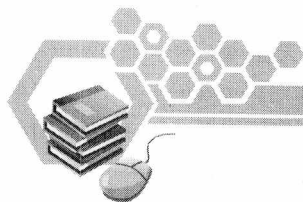
全书由何一心任主编,并负责第5章、第6章的编写和全书的审稿工作。文杰斌任副主编,承担与企业、相关厂家联系、收集资料和征询意见工作,同时负责第1章、第7章、第9章的编写,王韵负责第2章、第3章、第10章的编写,林燕负责第4章、第8章的编写。文杰斌和王韵担任全书的统稿和文字整理工作。

本书的修订工作得到了湖南邮电职业技术学院、中国电信湖南公司、中国通信服务湖南公司及中兴、华为等设备厂家的大力支持和鼎力帮助,在此一并表示衷心感谢。

光网络传输技术的发展迅速,加之编者水平有限,本书经过修订也仍难免有错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2012年10月



<b>第 1 章 SDH 基础知识</b> .....	1	2.1.1 SDH 设备功能描述 .....	30
1.1 SDH 的产生 .....	1	2.1.2 SDH 设备信号流程与告警 .....	39
1.1.1 PDH 的帧结构和主要缺陷 .....	1	2.2 SDH 设备类型及逻辑组成 .....	44
1.1.2 SDH 的产生及特点 .....	3	2.2.1 SDH 复用设备 .....	44
1.2 SDH 的速率等级及帧结构 .....	4	2.2.2 数字交叉连接设备 .....	45
1.2.1 SDH 的定义及设备基本类型 .....	4	2.2.3 再生中继器 .....	46
1.2.2 SDH 速率等级 .....	4	小结 .....	47
1.2.3 SDH 帧结构 .....	5	习题 .....	47
1.3 SDH 段开销 .....	6	实验一 光纤通信机房整体认知 .....	49
1.3.1 段开销的安排 .....	6	<b>第 3 章 SDH 网络</b> .....	50
1.3.2 段开销功能 .....	7	3.1 SDH 网络结构 .....	50
1.4 映射和复用 .....	10	3.1.1 SDH 网络拓扑结构 .....	50
1.4.1 映射和复用的基本概念 .....	10	3.1.2 复杂网络的拓扑结构 .....	52
1.4.2 SDH 映射复用单元 .....	12	3.1.3 SDH 网络的分层和分割 .....	54
1.4.3 常用 PDH 支路信号映射 复用进 STM-1 的方法 .....	13	3.1.4 我国的 SDH 传送网络结构 .....	55
1.4.4 $N$ 个 AUG 到 STM- $N$ 的复用 .....	16	3.2 SDH 网络保护 .....	57
1.4.5 通道开销 .....	17	3.2.1 网络保护和恢复 .....	57
1.5 指针技术 .....	17	3.2.2 SDH 线形网络保护 .....	58
1.5.1 AU-4 指针 .....	18	3.2.3 SDH 环形网络保护 .....	59
1.5.2 TU-3 指针 .....	20	3.3 SDH 网业务时隙配置 .....	63
1.5.3 TU-12 指针 .....	21	3.3.1 线形网的时隙配置 .....	63
1.6 SDH 新业务应用 .....	21	3.3.2 环形网的时隙配置 .....	64
1.6.1 基于 SDH 的 MSTP 的发展 历程 .....	21	小结 .....	65
1.6.2 MSTP 的概念及其功能模型 .....	22	习题 .....	66
1.6.3 以太业务在 MSTP 上的传送 实现 .....	23	实验一 T2000 网管系统 SDH 业务 配置 .....	68
1.6.4 MSTP 对 3G 的支持 .....	26	<b>第 4 章 SDH 支撑网</b> .....	69
小结 .....	27	4.1 电信管理网与 SDH 管理网 .....	69
习题 .....	28	4.1.1 TMN 的结构 .....	70
<b>第 2 章 SDH 设备的逻辑组成</b> .....	30	4.1.2 TMN 的功能 .....	73
2.1 SDH 设备的功能描述 .....	30	4.1.3 SMN 的组织模型 .....	75
		4.1.4 SMN 的结构 .....	77
		4.1.5 SMN 的功能 .....	77



4.2 时钟同步网	80	6.3.1 光放大器应用与分类	138
4.2.1 时钟同步网的同步方式	81	6.3.2 EDFA 放大器	139
4.2.2 时钟同步网结构	83	6.4 光纤光缆技术	144
4.2.3 SDH 网同步方式	85	6.4.1 光纤的非线性效应	144
4.2.4 定时基准的传递	86	6.4.2 非线性效应的影响	145
4.2.5 SDH 设备定时工作方式	87	6.4.3 单模光纤	148
4.2.6 时间同步网	96	小结	150
小结	99	习题	151
习题	101	<b>第 7 章 传输网络新技术</b>	153
实验一 性能与告警的浏览	103	7.1 PTN 技术	153
实验二 网络拓扑结构的创建	105	7.1.1 PTN 技术提出的背景	153
<b>第 5 章 DWDM 技术概述</b>	108	7.1.2 PTN 的定义	154
5.1 DWDM 技术概述	108	7.1.3 PTN 关键技术	156
5.1.1 DWDM 技术提出的背景	108	7.2 OTN 技术	162
5.1.2 DWDM 技术的定义	110	7.2.1 OTN 技术提出的背景	162
5.1.3 DWDM 技术的主要特点	114	7.2.2 OTN 的定义	163
5.2 DWDM 系统结构	116	7.2.3 OTN 关键技术	164
5.2.1 DWDM 系统结构	116	7.2.4 OTN 功能引入策略	170
5.2.2 标称波长的确定	119	7.3 全光网络	170
5.3 DWDM 系统分类	120	7.3.1 全光网络概述	171
5.3.1 DWDM 两类基本系统	120	7.3.2 全光网络的路由技术	172
5.3.2 DWDM 系统典型的两类应用结构	121	7.3.3 全光网络的交叉连接技术	174
5.3.3 DWDM 系统的网络拓扑结构	123	7.3.4 全光网络的设备类型	174
5.3.4 DWDM 的监控技术	124	小结	176
5.3.5 DWDM 系统传输总速率	125	习题	177
小结	125	<b>第 8 章 光网络传输性能与测试</b>	179
习题	126	8.1 传输性能	179
<b>第 6 章 DWDM 关键技术</b>	128	8.1.1 误码性能	179
6.1 光源与光波转换技术	128	8.1.2 抖动性能	183
6.1.1 光纤通信系统对光源的要求	128	8.1.3 漂移性能	184
6.1.2 光源类型	131	8.2 光接口测试	185
6.1.3 光波转换器 (OTU)	133	8.2.1 光接口类型	186
6.2 光波分复用器/解复用器 (合波/分波器) 和光开关	135	8.2.2 光接口参数	187
6.2.1 光波分复用器/解复用器 (合波/分波器)	135	8.2.3 光接口测试	188
6.2.2 滤光器和光开关	136	8.3 电接口测试	192
6.3 光放大技术	137	8.3.1 PDH 支路接口参数的规范	192
		8.3.2 SDH 支路接口参数的规范	192
		8.3.3 电接口测试	192
		小结	193
		习题	194



实验一 误码测试 .....	195
实验二 抖动容限测试 .....	195
实验三 光接口特性测试 .....	197
<b>第 9 章 典型传输设备介绍 .....</b>	<b>198</b>
9.1 华为 Metro 3000 SDH 设备 .....	198
9.1.1 系统结构 .....	199
9.1.2 单板组成 .....	201
9.2 中兴 ZXWM M900 WDM 设备 .....	203
9.2.1 系统结构 .....	204
9.2.2 单板介绍 .....	205
9.3 中兴 ZXCTN 6200 PTN 设备 .....	206
9.3.1 系统结构 .....	207
9.3.2 单板功能 .....	208
9.4 中兴 ZXMP M820 OTN 设备 .....	208
9.4.1 系统结构 .....	210
9.4.2 单板功能 .....	211
小结 .....	212
习题 .....	213
<b>第 10 章 传输网络日常维护和故障处理 .....</b>	<b>214</b>
10.1 传输网络维护概述 .....	214
10.1.1 传输网络维护整体要求 .....	214
10.1.2 传输维护与基本原则 .....	217
10.2 传输网络常见故障分析处理 .....	220
10.2.1 故障定位的原则 .....	220
10.2.2 传输故障定位常用方法 .....	221
10.2.3 业务中断类传输故障处理 .....	224
10.2.4 业务误码类传输故障处理 .....	226
10.3 典型传输故障案例分析 .....	227
10.3.1 SDH 典型传输故障案例 分析 .....	227
10.3.2 WDM 典型传输故障 案例分析 .....	227
小结 .....	228
习题 .....	229
<b>附录 缩略语 .....</b>	<b>231</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>240</b>

# 第 1 章

## SDH 基础知识

**【本章内容简介】** 本章系统介绍了同步数字系列 (SDH) 技术的基本理论知识, 包括: PDH 的主要缺陷, SDH 的特点及帧结构, SDH 段开销, SDH 的映射和复用, SDH 指针调整, MSTP 的概念及其功能模型、以太网业务在 MSTP 上的传送实现等基础知识。

**【学习重点与要求】** 本章重点是 SDH 帧结构, SDH 段开销, SDH 的映射和复用, SDH 指针技术, MSTP 的概念及其功能模型; 难点是 SDH 映射和复用过程, SDH 指针调整, 以太网业务在 MSTP 上的传送实现。

### 1.1 SDH 的产生

高度发达的信息社会要求通信网能支持多种多样的电信业务, 通过通信网传输、交换和处理的信息量将不断增大, 这就要求现代化的通信网向数字化、综合化、智能化和个人化方向发展。

传输系统是通信网的重要组成部分, 传输系统的好坏直接影响着通信网的业务质量。为了扩大传输容量、提高传输效率, 在数字通信中, 常常将若干个低速数字信号以数字复用的方式合成一路高速数字信号。数字复用必须按照一定的标准进行。国际电信联盟电信标准部门 (ITU-T) 的前身, 原国际电报电话咨询委员会 (CCITT) 规定了两种基本复用标准, 即准同步数字系列 (PDH) 和同步数字系列 (SDH)。我国在 1995 年以前采用 PDH 复用方式。1995 年以后, 随着光纤通信的迅猛发展, 引入了 SDH 复用方式, 原有的 PDH 数字传输网可逐步纳入 SDH 传输网。

#### 1.1.1 PDH 的帧结构和主要缺陷

模拟话音信号进行抽样、量化、编码, 变为一路 64 kbit/s 的数字信号, 为了提高线路利用率和传输容量, 采用时分复用技术, 将多路 64 kbit/s 数字信号以比特为单位进行





间插复接。在欧洲,将 30 个独立的 64 kbit/s 话音信道与两个信息控制信道一起形成一个 32 个时隙的信号结构,其传输速率为 2.048 Mbit/s;在北美和日本,则将 24 个 64 kbit/s 信道的信号间插复用在一起,形成一个 1.544 Mbit/s 的信息流。

为进一步提高传输容量,可将若干个 2.048 Mbit/s (或 1.544 Mbit/s) 的信息流复接成更高速率的信息流。例如,欧洲将 4 路 2.048 Mbit/s 信息流复接为一路 8.448 Mbit/s 的信息流;4 路 8.448 Mbit/s 信息流复接为一路 34.368 Mbit/s 的信息流;4 路 34.368 Mbit/s 信息流复接为一路 139.264 Mbit/s 的信息流。

我国的 PDH 技术采用欧洲制式,欧洲制式中各次群的速率、偏差、帧周期和电路数如表 1-1 所示。

表 1-1 我国 PDH 各次群速率与帧周期

群次	速率	偏差	帧周期	电路数
一次	2.048 Mbit/s	50 ppm	125 $\mu$ s	30
二次	8.448 Mbit/s	30 ppm	100.38 $\mu$ s	120
三次	34.368 Mbit/s	20 ppm	44.69 $\mu$ s	480
四次	139.264 Mbit/s	15 ppm	21.03 $\mu$ s	1 920

在过去的 20 多年时间里,PDH 技术在骨干网和本地网中发挥了巨大的作用。但是,在通信网向大容量、标准化发展的今天,PDH 技术在运营商公用通信网络中已基本淘汰,传统的 PDH 技术的缺陷体现在以下几点。

(1) 国际上现有的 PDH 技术存在 3 大地区标准,如图 1-1 所示,这种局面造成了国际互通的困难。

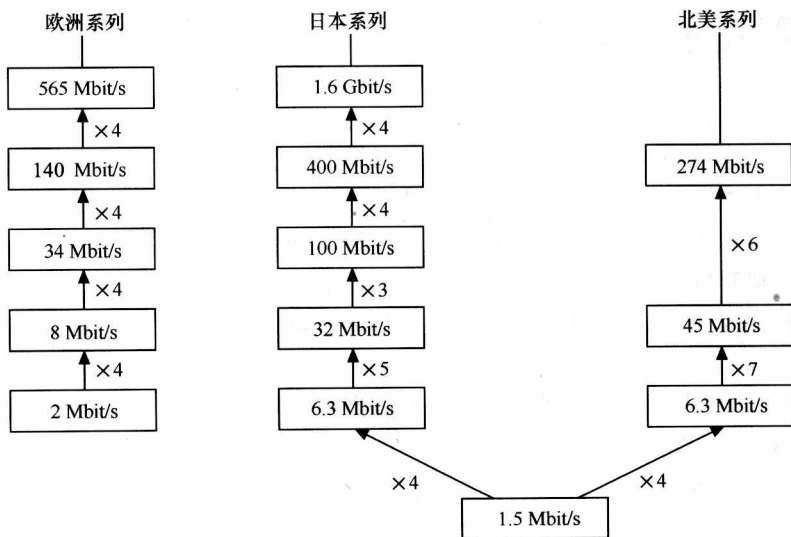


图 1-1 ITU-T 建议的 3 大 PDH 系列

(2) 没有世界性标准的光接口规范。这导致不同厂家的设备,甚至同一厂家不同型号的设备光接口各不相同,不能互连,即横向不兼容。

(3) 上/下支路困难。PDH 各速率等级帧长不同,低次群帧的起始点在高次群帧中没有固定位



置,也无规律可循。这种情况导致上/下支路必须采用背靠背设备,逐级分接出要下的支路,将不下的支路再逐级复接上去,如图 1-2 所示。

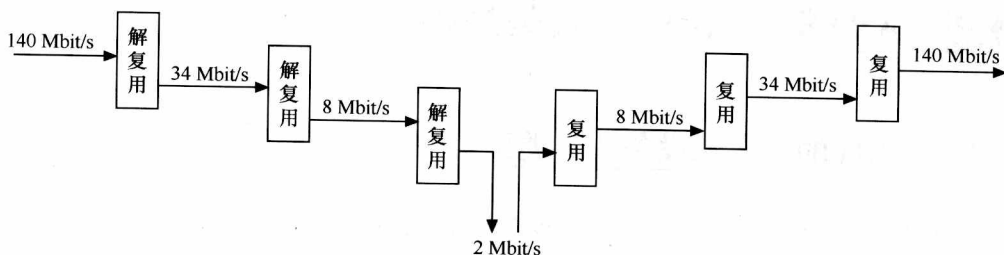


图 1-2 从 140 Mbit/s 信号分/插出 2 Mbit/s 信号示意图

(4) 只能采用异步复接方式,即复接时需调整各支路速率同步后才能复接。

(5) 网络管理能力不强。由于安排的开销比特很少,不能提供足够的运行、管理和维护(OAM)能力。网络的 OAM 主要靠人工的数字交叉连接和停业务检测,不能适应不断演变的电信网的要求。

### 1.1.2 SDH 的产生及特点

1985 年,美国国家标准协会(ANSI)为使设备在光接口互连起草了光同步标准,并命名为同步光网络(SONET)。1986 年,原 CCITT 以 SONET 为基础制订了 SDH 同步数字体系标准,使同步网不仅适用于光纤传输,也适合于微波和卫星等其他传输形式。

SDH 帧结构克服了 PDH 的不足,与传统的 PDH 相比较,SDH 具有如下明显的特点。

(1) 灵活的分插功能。SDH 规定了严格的映射复接方法,并采用指针技术,支路信号可以直接从线路信号中灵活地上下支路信号,无需通过逐级复用实现分插功能,减少了设备的数量,简化了网络结构。

(2) 强大的网络管理能力。SDH 的帧结构中有足够的开销比特,不仅满足目前的告警、性能监控、网络配置、倒换和公务等的需求,而且还有进一步扩展的余地,用以满足将来的监控和网管需求。

(3) 强大的自愈能力。具有智能检测的 SDH 网管系统和网络动态配置功能,使 SDH 网络容易实现自愈,在设备或系统发生故障时能迅速恢复业务,提高了网络的可靠性,降低了维护费用。

(4) SDH 有标准的光接口规范。不同厂家的设备可以在光路上互连,真正实现横向兼容。

(5) SDH 具有兼容性。SDH 的 STM-1 既可复用 2 Mbit/s 系列的 PDH 信号,又可复用 1.5 Mbit/s 系列的 PDH 信号,使两大系列在 STM-1 中得到统一,便于实现国际互通,也便于顺利地由 PDH 向 SDH 过渡。

总结起来,SDH 的核心特点是:同步复用、标准光接口以及强大的网络管理能力。

当然,SDH 技术并不是十全十美的,它也有一些不足之处:

(1) 由于开销比特很多,因此频带利用率不如 PDH;

(2) 大规模采用软件技术,一旦计算机系统出现故障或被恶意攻击,网管系统对 SDH 网络不能实施有效监控管理,严重时甚至造成全网瘫痪;

(3) 为了能兼容各种速率信号、实现横向连接,采用指针调控技术,产生较大的抖动,对信



号造成一定的传输损伤。

## 1.2 SDH 的速率等级及帧结构

### 1.2.1 SDH 的定义及设备基本类型

同步数字系列 (SDH) 是一种将复接、线路传输及交换功能融为一体, 并由统一网管系统操作的综合信息传送网络技术。

SDH 在网络节点接口方面有统一规范, 这个规范中首先统一的就是接口速率等级和帧结构安排。另外, SDH 还统一了设备类型和设备功能, 使网络构成更加规范。SDH 设备 (网元) 类型有 4 种。

(1) 终端复用器 (TM): 用于将各种低速信号复用映射进线路信号 STM-N 或作相反处理, 如图 1-3 所示。

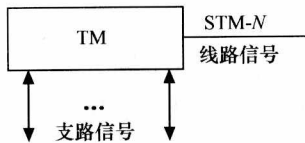


图 1-3 TM 网元示意图

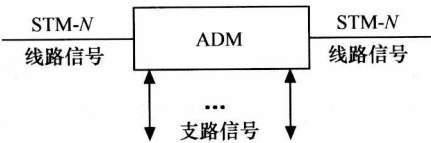


图 1-4 ADM 网元示意图

(3) 再生中继器 (REG): 实现对 STM-N 信号的放大、再生, 以便延长通信距离, 如图 1-5 所示。

(4) 数字交叉连接器 (DXC): 实现不同端口、不同速率信号的交叉连接, 如图 1-6 所示。

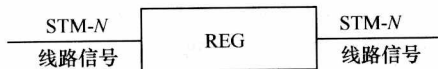


图 1-5 REG 网元示意图

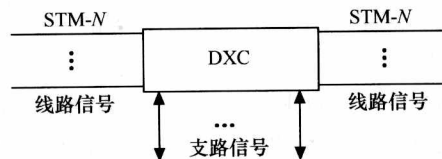


图 1-6 DXC 网元示意图

### 1.2.2 SDH 速率等级

SDH 按一定的规律组成块状帧结构, 称为同步传送模块 (STM), 它以与网络同步的速率串行传输。SDH 中最基本的, 也是最重要的模块信号是 STM-1, 其速率为 155.520 Mbit/s, 更高等级的模块 STM-N 是  $N$  个基本模块信号 STM-1, 经字节间插后按同步复用形成的, 其速率是 STM-1 的  $N$  倍,  $N$  取正整数 1、4、16、64、256。详细速率等级如表 1-2 所示。STM-N 光接口线路信号只是 STM-N 信号经扰码后电光转换的结果, 因而速率不变。



表 1-2

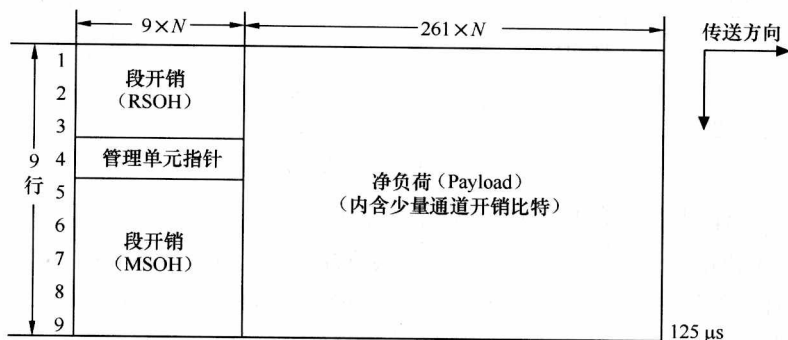
同步数字系列 (SDH) 速率等级

同步数字系列速率等级	比特率 (kbit/s)	速率 (bit/s)
STM-1	155 520	155 M
STM-4	622 080	622 M
STM-16	2 488 320	2.5 G
STM-64	9 953 280	10 G
STM-256	39 813 120	40 G

### 1.2.3 SDH 帧结构

STM- $N$  帧结构由 9 行、 $270 \times N$  列组成, 采用按字节间插复用, 即有  $9 \times 270 \times N = 2\,430 \times N$  byte, 每字节 8 bit, 每字节速率为 64 kbit/s。每帧的周期为 125  $\mu$ s, 帧频为 8 kHz (每秒 8 000 帧)。STM-1 是 SDH 最基本的结构。每帧周期为 125  $\mu$ s, 含 19 440 ( $9 \times 270 \times 8$ ) bit, 传输速率为 19 440 bit/125  $\mu$ s = 155 520 kbit/s。因为 STM- $N$  是由  $N$  个 STM-1 经字节间插同步复接而成的, 故其速率为 STM-1 的  $N$  倍。

SDH 帧由净负荷、管理单元指针 (AU-PTR) 和段开销 (SOH) 3 部分组成, 如图 1-7 所示。

图 1-7 STM- $N$  帧结构

**【例 1-1】** 试计算 STM-16 中帧频、帧长、MSOH 的速率。

(1) 因为 STM- $N$  的帧周期为 125  $\mu$ s, 所以 STM-16 作为 STM- $N$  中的一种速率, 理所当然它的帧周期也应该是 125  $\mu$ s。

(2) 因为 STM- $N$  的帧结构为 9 行、 $270 \times N$  列, 所以 STM-16 的帧长为  $9 \times 270 \times 16 = 44\,880$  byte 或  $9 \times 270 \times 16 \times 8 = 359\,040$  bit。

(3) 因为 MSOH 在 STM- $N$  中位于 5~9 行前  $9 \times N$  列, 所以在 STM-16 帧中有  $5 \times 9 \times 16 = 720$  byte 的 MSOH 字节, 又每个字节的速率为 64 kbit/s, 所以在 STM-16 帧中 MSOH 的速率为  $720 \times 64$  kbit/s = 46 080 kbit/s。

段开销 (SOH) 区域用于存放帧定位、运行、维护和管理方面的字节, 以保证主信息净负荷正确灵活地传送。段开销进一步分为再生段开销 (RSOH) 和复用段开销 (MSOH)。再生段开销位于 STM- $N$  帧中的 1~3 行  $1 \sim 9 \times N$  列, 用于帧定位、再生段的监控和维护管理。再生段开销 (RSOH) 在再生段始端产生并加入帧中, 在再生段末端终结, 即从帧中提取出来进行处理。因此在 SDH 网中每个网元处, 再生段开销都要终结。RSOH 既可以在再生器接入和分出, 又可以在终端设备上接入和分出。复用段开销分布在 STM- $N$  帧中的 5~9 行  $1 \sim 9 \times N$  列, 用于复用段的监控、



维护和管理,在复用段的始端产生,在复用段的末端终结,故复用段开销在中继器上透明传输,在除中继器以外的其他网元处终结。

中继器之间或中继器与数字复用设备之间的物理实体称为再生段,两复用设备之间的全部物理实体则构成复用段。不同的再生段中的再生段开销互不相关,不同的复用段中的复用段开销也互不相关。从网络分层的角度来分,SDH 网络分为通道层和传输介质层,通道层分为低阶通道层和高阶通道层,传输介质层可分为段层和物理层,其中段层可分为复用段层和再生段层,物理层即传输线路,如图 1-8 所示。

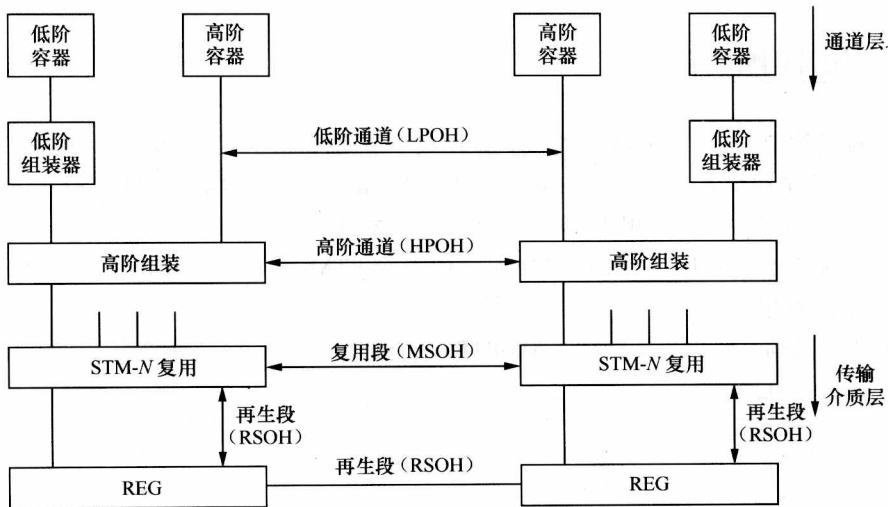


图 1-8 SDH 开销功能的组织结构

开销完成对 SDH 信号提供层层细化的监控管理功能,监控可分为段层监控和通道层监控。段层的监控分为再生段层和复用段层的监控,通道层监控分为高阶通道层和低阶通道层的监控,由此实现了对 STM-N 层层细化的监控。例如,对 2.5 Gbit/s 系统的监控,再生段开销对整个 STM-16 信号监控,复用段开销细化到对 STM-16 中 16 个 STM-1 的任一个进行监控,高阶通道开销再将其细化成对每个 STM-1 中的 VC-4 的监控,低阶通道开销又将对 VC-4 的监控细化为对其中 63 个 VC-12 的任一个 VC-12 进行监控,由此实现了对 2.5 Gbit/s 级别到 2 Mbit/s 级别的多级监控手段。这些监控功能的实现是由不同的开销字节来实现的。

管理单元指针存放在帧的第 4 行的  $1 \sim 9 \times N$  列,用来指示信息净负荷的第一个字节在 STM-N 帧内的准确位置,以便正确区分出所需的信息。为了兼容各种业务或与其他网络连接,需通过指针进行速率调整。

信息净负荷区存放各种电信业务信息和少量用于通道性能监控的通道开销字节,它位于 STM-N 帧结构中除段开销和管理单元指针区域以外的所有区域。

## 1.3 SDH 段开销

### 1.3.1 段开销的安排

STM-N 的段开销由  $N$  个 STM-1 段开销按字节间插同步复用而成,但只有第一个 STM-1 的段开



销完全保留，其余  $N-1$  个 STM-1 的段开销仅保留 A1、A2 和 B2 字节，其他的字节全部省略。

以 STM-1 信号为例介绍段开销各字节的用途。对于 STM-1 信号，段开销包括位于帧中 1~3 行×1~9 列的 RSOH 和 5~9 行×1~9 列的 MSOH。STM-1 段开销的安排如图 1-9 所示。



注：× 为国内使用的保留字节  
△ 为传输介质有关的特征字节

图 1-9 STM-1 段开销的安排

## 1.3.2 段开销功能

### 1. 再生段开销功能

#### (1) 帧定位字节 A1、A2

A1、A2 用来标识 STM- $N$  帧的起始位置。A1 为 11110110 (F6)，A2 为 00101000 (28)。

#### (2) 再生段踪迹字节 J0

J0 重复发送一个代表某接入点的标志，从而使再生段的接收端能够确认是否与预定的发送端处于持续的连接状态。用连续 16 帧内的 J0 字节组成 16 byte 的帧来传送接入点识别符。在同一个运营商的网络内该字节可为任意字符，而在不同运营商之间的网络边界处要使设备收、发两端的 J0 字节相同。通过 J0 字节可使运营商提前发现和解决故障，缩短网络恢复时间。

#### (3) STM-1 识别符 C1

原 CCITT 建议中 J0 的位置上安排的是 C1 字节，用来表示 STM-1 在高阶 STM- $N$  中的位置。采用 C1 字节的老设备与采用 J0 字节的新设备互通时，新设备置 J0 为“00000001”表示“再生段踪迹未规定”。

#### (4) 再生段误码监视字节 B1

B1 字节用于再生段误码在线监测，它是采用偶校验的比特间插奇偶校验 8 位码(简称 BIP-8)。BIP-8 是将被监测部分 8 bit 分为一组排列，然后计算每一列比特“1”的奇偶数，如果为奇数则 BIP-8 中相应比特置“1”，如果为偶数则 BIP-8 中相应比特置“0”，即加上 BIP-8 的比特后，使每列的比特“1”码数为偶数。例如有一串较短的序列“11010100011100111010101010111010”，其 BIP-8 的计算为：



```

1 1 0 1 0 1 0 0
0 1 1 1 0 0 1 1
1 0 1 0 1 0 1 0
1 0 1 1 1 0 1 0

```

---

BIP-8 1 0 1 1 0 1 1 1

在 STM-N 帧中对前一 STM-N 帧扰码后的所有比特进行 BIP-8 运算, 将得到的结果置于当前帧扰码前的 B1 位置。接收端将前一帧解扰码前的所有比特计算得到的 BIP-8 值与当前帧解扰后的 B1 作比较, 如果任一比特不一致, 则说明本 BIP-8 负责监测的“块”在传输过程中有差错。这样只要检测出接收端计算出的 BIP-8 与传送过来的 B1 不一致的数量, 就可得到信号传输过程中的差错“块”数(即误码项数), 从而实现再生段的在线误码监测。

#### (5) 再生段公务通信字节 E1

E1 用于再生段公务联络, 提供一个 64 kbit/s 通路, 它在中继器上可以接入或分出。

#### (6) 使用者通路字节 F1

为网络运营者提供一个 64 kbit/s 通路, 为特殊维护目的提供临时的数据/话音通道。

#### (7) 再生段数据通信通道字节 (D1、D2、D3)

D1、D2、D3 用于再生段传送再生器的运行、管理和维护信息, 可提供速率达 192 kbit/s (3×64 kbit/s) 的通道。

## 2. 复用段开销

### (1) 复用段误码监视字节 B2

用于复用段的误码在线监测, 3 个 B2 共 24 bit, 作比特间插奇偶校验, 以前为 BIP-24 校验, 后改进为 24×BIP-1, 其计算方法与 BIP-8 相似, 只不过此处每 24 bit 分为一组。

产生 B2 字节的方法是: 对前一个扰码后的 STM 帧中除再生段开销以外的所有比特作 BIP 运算, 将结果放在当前 STM 帧扰码前的 B2 字节处。接收端将收到的前一帧计算 BIP 值, 再与当前帧的 B2 异或, 得到误码块数。

### (2) 数据通信通道字节 D4~D12

构成管理网复用段之间运行、管理和维护信息的传送通道, 可提供速率达 576 kbit/s (9×64 kbit/s) 的通道。

### (3) 复用段公务通信字节 E2

用于复用段公务联络, 只能在含有复用段终端功能块 (MST) 的设备上接入或分出, 可提供速率为 64 kbit/s 的通路。

### (4) 自动保护倒换通路字节 K1、K2 (b1~b5)

K1 和 K2 用于传送复用段保护倒换 (APS) 协议。保证设备发生故障时能自动切换, 使网络自愈, 用于复用段保护倒换自愈情况。

两字节的比特的分配和面向比特的协议在 ITU-T 建议 G.783 的附件 A 中给出。K1 (b1~b4) 指示倒换请求的原因, K1 (b5~b8) 指示提出倒换请求的工作系统序号, K2 (b1~b5) 指示复用段接收侧备用系统倒换开关桥接到的工作系统序号。

### (5) 复用段远端缺陷指示字节 K2 (b6~b8)

用于向复用段发送端回送接收端状态指示信号, 通知发送端, 接收端检测到上游故障或者收



到了复用段告警指示信号 (MS-AIS)。有缺陷时在 K2 (b6~b8) 插入“110”码, 表示复用段远端缺陷指示 (MS-RDI)。

#### (6) 同步状态字节 S1 (b5~b8)

S1 字节的 b5~b8 用作传送同步状态信息, 即上游站的同步状态通过 S1 (b5~b8) 传送到下游站。S1 的安排如表 1-3 所示。

表 1-3 S1 字节 b5~b8 的安排

S1 的 b5~b8	时钟等级
0000	质量未知
0010	G.811 基准时钟
0100	G.812 转接局从时钟
1000	G.812 本地局从时钟
1011	同步设备定时源 (SETS)
1111	不可用于时钟同步

注: 其余组态预留

#### (7) 复用段远端差错指示字节 M1

M1 用于将复用段接收端检测到的差错数回传给发送端。接收端 (远端) 的差错信息由接收端计算出的  $24 \times \text{BIP-1}$  与收到的 B2 比较得到, 有多少差错比特就表示有多少差错块, 然后将差错数用二进制表示放置于 M1 的位置, 如表 1-4、表 1-5 和表 1-6 所示。

表 1-4 STM-1 的 M1 代码

M1 代码比特 2345678	代码含义
0000000	0 个差错
0000001	1 个差错
0000010	2 个差错
...	...
0011000	24 个差错
0011001	0 个差错
...	...
1111111	0 个差错

表 1-5 STM-4 的 M1 代码

M1 代码比特 2345678	代码含义
0000000	0 个差错
0000001	1 个差错
0000010	2 个差错
...	...
1100000	96 个差错
1100001	0 个差错
...	...
1111111	0 个差错





表 1-6 STM-16 的 M1 代码

M1 代码比特 2 3 4 5 6 7 8	代码含义
0 0 0 0 0 0 0	0 个差错
0 0 0 0 0 0 1	1 个差错
0 0 0 0 0 1 0	2 个差错
...	...
1 1 1 1 1 1 1	255 个差错

注：M1 的第一个比特忽略。

#### (8) 保留给将来国际标准使用的字节

图 1-9 中未表明用途的空白字节是保留给将来国际标准使用的字节。现在允许利用其中的一些字节进行相关通信。

SDH 的 SOH 功能是十分完备的，但不是在所有情况下所有的字节都是必不可少的。根据实际情况对接口进行简化，省略一些非必需的字节可以降低设备的成本。只有 A1、A2、B2、K2 字节是必不可少的。

简化接口的 SOH 字节选用如表 1-7 所示。这种简化接口只是为生产厂商和网络运营商提供了一种选择，在实际应用中可根据实际情况使用。

表 1-7 简化接口的 SOH 字节

SOH 字节	光 接 口	电 接 口
A1、A2	需要	需要
J0	需要	选用
B1	不用	不用
E1	选用	选用
F1	不用	不用
D1~D12	选用	选用
B2	需要	需要
K1、K2 (APS)	选用	不用
K2 (MS-RDI, MS-AIS)	需要	需要
S1	需要	需要
M1	需要	需要
E2	不用	不用
其他	不用	不用

## 1.4 映射和复用

### 1.4.1 映射和复用的基本概念

前面已经提到，SDH 具有兼容性，即 PDH 两大系列的各速率等级的信号均可以纳入 SDH 的传送模块中，这样使现存的 PDH 设备还能继续使用，不致于造成浪费。同时 SDH 还能兼容各种